

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-317752

(43)Date of publication of application : 07.11.2003

(51)Int.Cl.

H01M 8/04

(21)Application number : 2002-118038

(71)Applicant : **NISSAN MOTOR CO LTD**

(22)Date of filing :

19.04.2002

(72)Inventor : SAKAI MASANOBU

TORI SHUJI

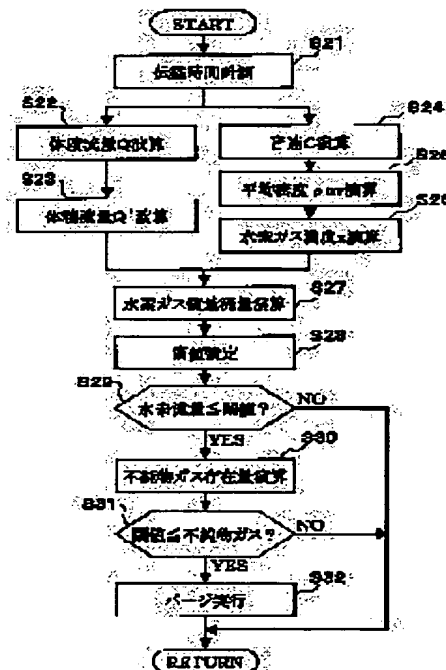
UEHARA TETSUYA

(54) FUEL CELL SYSTEM AND CONTROL METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve energy efficiency of a fuel cell system by reducing the undesired loss of fuel gas by purging in the fuel cell system.

SOLUTION: Volume flow rate is calculated based on a propagating time of ultrasonic wave in mixed gas measured by an ultrasonic flowmeter, and an average density of the mixed gas is determined. Hydrogen gas concentration and impurity gas concentration are calculated based on the average density, the mass flow rate of hydrogen gas is calculated based on the hydrogen gas concentration and the volume flow rate, and an existing amount of the impurity gas is calculated based on the impurity gas concentration, pressure, and temperature. Here, when the mass flow rate of hydrogen is at a threshold or lower and the existing amount of the impurity gas is at a threshold or higher, the purge is performed.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2003-317752
(P2003-317752A)

(43)公開日 平成15年11月7日(2003.11.7)

(51)Int.Cl.

H01M 8/04

識別記号

F I

H01M 8/04

テマコード*(参考)

J 5H027
Z

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願2002-118038(P2002-118038)

(22)出願日 平成14年4月19日(2002.4.19)

(71)出願人 000003997

日産自動車株式会社

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(72)発明者 酒井 政信

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産
自動車株式会社内

(72)発明者 鳥居 修司

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産
自動車株式会社内

(74)代理人 100078330

弁理士 笹島 富二雄

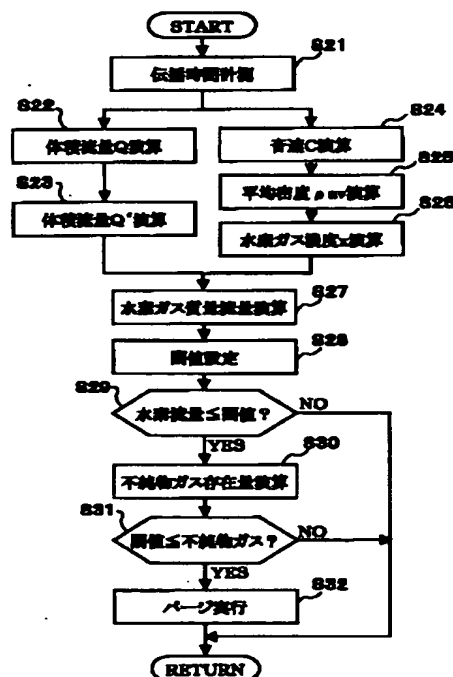
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 燃料電池システム及び制御方法

(57)【要約】

【課題】 燃料電池システムにおいて、パージによる燃料ガスの無用な損失を低減させて燃料電池システムのエネルギー効率を高めることを目的とする。

【解決手段】 超音波流量計で計測される混合ガス中の超音波の伝播時間に基づいて体積流量を演算すると共に、混合ガスの平均密度を求める。そして、前記平均密度から水素ガス濃度及び不純物ガス濃度を演算すると共に、該水素ガス濃度と体積流量から水素ガスの質量流量を演算し、不純物ガス濃度、圧力、温度から不純物ガス存在量を演算する。ここで、水素質量流量が閾値以下で、かつ、不純物ガス存在量が閾値以上であるときに、パージを行わせる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】燃料電池において発電に使用されなかった水素を、前記燃料電池へ水素を供給する通路に還流させる水素還流経路を備えた燃料電池システムであって、前記水素還流経路に設けられるガスパージ弁と、前記水素還流経路を含む水素循環系内における水素質量流量を推定する水素質量流量推定手段と、前記水素質量流量が閾値以下になったときに、前記ガスパージ弁を開放するパージ制御手段と、を含んで構成されたことを特徴とする燃料電池システム。

【請求項 2】前記水素循環系内の混合ガス中の不純物ガス存在量を推定する不純物ガス存在量推定手段を備え、前記パージ制御手段が、前記水素質量流量が閾値以下で、かつ、前記不純物ガス存在量が閾値以上になったとき、前記ガスパージ弁を開放することを特徴とする請求項 1 記載の燃料電池システム。

【請求項 3】前記水素質量流量の閾値を、前記燃料電池の運転条件に応じて設定する閾値設定手段を設けたことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の燃料電池システム。

【請求項 4】前記閾値設定手段が、前記運転条件としての発電電流に応じて前記水素質量流量の閾値を設定することを特徴とする請求項 3 記載の燃料電池システム。

【請求項 5】前記水素質量流量推定手段及び／又は不純物ガス存在量推定手段が、前記水素循環系内の混合ガス中の音速を求めると共に、該音速に基づいて前記混合ガスの平均密度を求め、該平均密度に基づいて前記混合ガス中の水素濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定する濃度推定手段を含んで構成され、該濃度推定手段によって求められる濃度に基づいて水素質量流量及び／又は不純物ガス存在量を推定することを特徴とする請求項 1～4 のいずれか 1 つに記載の燃料電池システム。

【請求項 6】前記水素質量流量推定手段が、前記水素循環系内の混合ガス中における超音波の伝播時間に基づいて前記混合ガスの体積流量を検出する体積流量検出手段を含んで構成され、前記濃度推定手段が、前記体積流量検出手段による伝播時間の計測結果に基づいて音速を求めて、前記水素濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定することを特徴とする請求項 5 記載の燃料電池システム。

【請求項 7】前記水素循環系内の混合ガス中における超音波の伝播時間に基づいて前記混合ガスの体積流量を検出する体積流量検出手段と、前記混合ガスの圧力を検出する圧力検出手段と、前記混合ガスの温度を検出する温度検出手段と、前記超音波の伝播時間に基づいて前記混合ガス中の音速を求めると共に、該音速に基づいて前記混合ガスの平均密度を求め、該平均密度に基づいて前記混合ガス中の水

素ガス濃度及び不純物ガス濃度を推定する濃度推定手段と、

を備え、

前記水素質量流量推定手段が、前記体積流量、圧力、温度及び水素ガス濃度に基づいて水素質量流量を推定し、前記不純物ガス存在量推定手段が、前記圧力、温度及び不純物ガス濃度に基づいて前記不純物ガス存在量を推定することを特徴とする請求項 2 記載の燃料電池システム。

10 【請求項 8】前記水素還流経路に除湿手段を介装し、前記濃度推定手段が、前記除湿手段の下流側における超音波の伝播時間に基づいて水素濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定することを特徴とする請求項 5～7 のいずれか 1 つに記載の燃料電池システム。

【請求項 9】前記超音波の伝播時間の計測部位近傍に、前記混合ガスの湿度を検出する湿度検出手段を設け、前記濃度推定手段が、前記湿度に基づいて求められる水蒸気濃度と前記平均密度とに基づいて、前記水素ガス濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定することを特徴とする請求項 5～7 のいずれか 1 つに記載の燃料電池システム。

【請求項 10】前記超音波の伝播時間の計測部位近傍に、前記混合ガスの圧力を検出する圧力検出手段及び混合ガスの温度を検出する温度検出手段を設け、前記濃度推定手段が、飽和水蒸気状態での水蒸気濃度を前記圧力及び温度から求め、該水蒸気濃度と前記平均密度とに基づいて、前記水素ガス濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定することを特徴とする請求項 5～7 のいずれか 1 つに記載の燃料電池システム。

30 【請求項 11】前記濃度推定手段が、前記混合ガスの水蒸気濃度を予め定められた一定値とし、該水蒸気濃度と前記平均密度とに基づいて、前記水素ガス濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定することを特徴とする請求項 5～7 のいずれか 1 つに記載の燃料電池システム。

【請求項 12】燃料電池において発電に使用されなかった水素を、前記燃料電池へ水素を供給する通路に還流させる水素還流経路を備えた燃料電池システムにおいて、前記水素還流経路を含む水素循環系内における水素質量流量を推定し、

40 前記水素質量流量が閾値以下になったときに、前記水素還流経路から混合ガスをパージさせることを特徴とする燃料電池システムの制御方法。

【請求項 13】燃料電池において発電に使用されなかった水素を、前記燃料電池へ水素を供給する通路に還流させる水素還流経路を備えた燃料電池システムにおいて、前記水素還流経路を含む水素循環系内における水素質量流量を推定し、前記水素循環系内の混合ガス中の不純物ガス存在量を推定し、

50 前記水素質量流量が閾値以下で、かつ、前記不純物ガス

存在量が閾値以上になったとき、前記水素還流経路から混合ガスをパージさせることを特徴とする燃料電池システムの制御方法。

【請求項 14】前記水素質量流量の閾値を、前記燃料電池の発電電流に応じて設定することを特徴とする請求項 12 又は 13 記載の燃料電池システムの制御方法。

【請求項 15】前記水素循環系内の混合ガス中における超音波の伝播時間に基づいて、前記混合ガス中の音速を求め、

該音速に基づいて前記混合ガスの平均密度を求め、

該平均密度に基づいて前記混合ガス中の水素濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定し、

前記濃度に基づいて水素質量流量及び／又は不純物ガス存在量を推定することを特徴とする請求項 12～14 のいずれか 1 つに記載の燃料電池システムの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、燃料電池システム及び制御方法に関し、詳しくは、燃料ガスを循環して燃料電池に還流させて再利用するタイプの燃料電池システムにおいて、還流系からのパージを制御する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から、燃料電池システムにおいて、燃料電池で消費されなかった水素を、燃料電池に還流して再利用を図ることが行われている（特開平 10-055814 号公報及び特開 2000-58092 号公報参照）。また、上記のように燃料ガスを還流させて再利用するシステムの場合、燃料ガスを循環し続けるにしたがって循環ライン内に不純物ガス（例えば燃料電池の発電作用には不必要な窒素ガス）が徐々に蓄積・増加していくことが知られている。

【0003】このような不必要なガスを循環させ続けることは循環動力を無駄に使うばかりでなく、燃料電池に供給される燃料中に占める不純物ガスの割合が増加することで燃料電池の出力低下を招くことになる。そこで、前記特開 2000-58092 号に開示される構成では、燃料ガスの循環ラインから不純物ガスを含む燃料ガスをパージさせるパージ弁を備え、循環ライン中の不純物ガス濃度が一定値を超えたときに前記パージ弁を開放させるようになっていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、燃料ガスを還流させて再利用する燃料電池システムにおいては、燃料ガス供給源からの水素供給流量を Q (L/min) とすると、この Q (L/min) に対してある比率 α の流量 αQ (L/min) がエジェクタによって吸込まれて還流され、燃料電池には合計流量である $(1+\alpha)Q$ (L/min) が流入する。

【0005】そして、燃料電池にて Q (L/min) の

水素が消費され、消費されずに残った αQ (L/min) が未利用ガスとして燃料電池から排出されて循環するという関係にある。すなわち、燃料ガス供給源から流入する水素流量 Q (L/min) が燃料電池で消費され、この流量 Q (L/min) に依存した量 αQ (L/min) が循環している。

【0006】一方、特開 2000-012059 号公報に開示されるように、燃料電池に流入する水素質量流量が燃料電池の発電効率に関係しており、燃料電池で消費される水素質量流量以上の量を燃料電池に流入させることが求められ、また、燃料電池の急激な負荷増大に対応するための余裕分も必要なことから、循環される水素質量流量が所定以上であることが要求される。

【0007】換言すれば、循環される水素質量流量（余裕分）が所定以上であれば、燃料電池の発電に影響がないため、循環ラインからのパージは必要ないことになるが、従来のように、不純物ガス濃度に基づいてパージを制御する構成では、不純物ガス濃度が同じでも燃料電池における消費量によって循環ラインにおける水素質量流量が変化することに対応できないため、適切なタイミングでパージを行わせることができないという問題があった。

【0008】また、従来のように不純物ガス濃度に基づいてパージを制御する構成では、過渡的な不純物ガス濃度の変化に影響されてパージが行われ、無用な燃料ガスの損失を増大させる可能性があった。例えば、循環ラインの不純物ガスがある量蓄積されている状態で、燃料電池の負荷の増大変化があると、一時的に循環ラインの水素質量が低下し、それによって相対的に不純物ガス濃度が増大するため、従来制御では、係る一時的な不純物ガス濃度の増大に基づいて、パージが行われる可能性がある。

【0009】しかし、有効なパージを実行するという観点からすると、不純物ガスの蓄積存在量が所定量以下の場合にはパージを控えることが望まれるため、従来制御では、頻繁なパージ制御によって無用な燃料ガスの損失を増大させる可能性があった。本発明は上記問題点を鑑みなされたものであり、燃料ガスの無用な損失を低減させて燃料電池システムのエネルギー効率を高めることが可能な燃料電池システム及び制御方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項 1、12 記載の発明では、水素還流経路を含む水素循環系内における水素質量流量を推定し、前記水素質量流量が閾値以下になったときに、水素還流経路から混合ガスをパージさせる構成とした。上記構成によると、水素循環系内の混合ガス（水素ガス、不純物ガス、水蒸気）の流量変化に応じて変化する水素質量流量が閾値以下となり、発電効率を維持できなくなると、パージ

を行って燃料ガスと共に不純物ガスをパージさせる。

【0011】請求項2, 13記載の発明では、水素循環系内における水素質量流量及び不純物ガス存在量をそれぞれ推定し、前記水素質量流量が閾値以下で、かつ、前記不純物ガス存在量が閾値以上になったときに、水素還流経路から混合ガスをパージさせる構成とした。上記構成によると、たとえ燃料電池の負荷変化等によって水素質量流量が閾値以下になっても、不純物ガス存在量が閾値を下回るときには、パージが行われない。

【0012】請求項3記載の発明では、前記水素質量流量の閾値を、前記燃料電池の運転条件に応じて設定する構成とした。上記構成によると、必要とされる水素質量流量が、燃料電池の運転条件に応じて変化することに対応させるべく、パージを行わせる水素質量流量の閾値を変化させる。

【0013】請求項4, 14記載の発明では、燃料電池の発電電流に応じて前記水素質量流量の閾値を設定する構成とした。上記構成によると、発電電流に応じて発電効率の維持のために必要とされる水素質量流量が変化することに対応して、水素質量流量の閾値が変更される。

請求項5, 15記載の発明では、水素質量流量及び／又は不純物ガス存在量の推定に用いる水素濃度及び／又は不純物ガス濃度を、水素循環系内の混合ガス中の音速に基づいて求められる混合ガスの平均密度に基づいて推定させる構成とした。

【0014】上記構成によると、混合ガス中における音速から混合ガスの平均密度が分かり、例えば、混合ガスが水素と不純物ガスとからなる場合には、水素濃度と不純物ガス濃度の合計が1で、各ガスの濃度と密度との乗算値を加算した結果が平均密度となるから、これらの式に基づいて水素濃度及び不純物ガス濃度を求めることが可能である。

【0015】請求項6記載の発明では、水素質量流量の推定に、水素循環系内の混合ガス中における超音波の伝播時間に基づいて体積流量を検出する手段を用いる構成とし、濃度推定に前記体積流量の検出のための伝播時間の計測結果を用いる構成とした。上記構成によると、体積流量の検出のために計測される伝播時間に基づいて、同時に、水素濃度及び／又は不純物ガス濃度の推定が行われる。

【0016】請求項7記載の発明では、超音波の伝播時間に基づいて体積流量を検出する手段と、混合ガスの圧力を検出する手段と、混合ガスの温度を検出する手段と、を備え、前記伝播時間に基づいて混合ガス中の音速を求め、該音速に基づいて求められる平均密度に基づいて水素ガス濃度及び不純物ガス濃度を推定し、前記体積流量、圧力、温度及び水素ガス濃度に基づいて水素質量流量を推定すると共に、前記圧力、温度及び不純物ガス濃度に基づいて不純物ガス存在量を推定する構成とした。

【0017】上記構成によると、体積流量の検出に伴って濃度推定が行われ、また、圧力、温度の変化に対応して、水素質量流量及び不純物ガス存在量が推定される。請求項8記載の発明では、除湿手段の下流側での伝播時間に基づいて、水素濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定させる構成とした。上記構成によると、水素循環系の混合ガスが、水素、不純物ガス、水蒸気からなる場合に、伝播時間の計測部位の上流側で除湿されることで、混合ガスが水素と不純物ガスとの2成分から構成されることになり、伝播時間から水素の密度と不純物ガスの密度との平均が求められることになる。従って、未知数が水素濃度及び不純物ガス濃度のみとなり、濃度の方程式と密度の方程式とから、水素濃度及び不純物ガス濃度が求められることになる。

【0018】請求項9記載の発明では、伝播時間の計測部位近傍で湿度を検出し、該湿度に基づいて求められる水蒸気濃度と伝播時間から求められる平均密度とに基づいて、水素ガス濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定する構成とした。上記構成によると、平均密度が、水素、不純物ガス、水蒸気の平均密度として求められる構成であっても、水蒸気の濃度を既知とすることで、水素濃度及び不純物ガス濃度が求められることになる。

【0019】請求項10記載の発明では、伝播時間の計測部位近傍で、圧力及び温度を検出し、飽和水蒸気状態での水蒸気濃度を前記圧力及び温度から求め、該水蒸気濃度と伝播時間から求められる平均密度とに基づいて、水素ガス濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定する構成とした。上記構成によると、水素循環系内が略飽和水蒸気状態であれば、圧力及び温度から水蒸気濃度が求められ、水蒸気の濃度を既知とすることで、水素濃度及び不純物ガス濃度が求められることになる。

【0020】請求項11記載の発明では、混合ガスの水蒸気濃度を予め定められた一定値とし、該水蒸気濃度と伝播時間から求められる平均密度とに基づいて、水素ガス濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定する構成とした。上記構成によると、水蒸気の濃度を一定値と仮定することで、水素濃度及び不純物ガス濃度が求められる。

【0021】

【発明の効果】請求項1, 12記載の発明によると、水素循環系における水素質量流量に基づいてパージを制御するので、発電効率を維持できる水素質量流量が確保されている状態でパージが行われることを回避でき、以って、無用なパージによる水素ガスの損失を低減させることができるという効果がある。

【0022】請求項2, 13記載の発明によると、水素質量流量が低下しても、不純物ガス存在量が少ない場合にはパージが行われないので、過渡的に水素質量流量が低下したときに、パージすべき不純物ガス存在量が少ないのにパージが行われてしまうことを回避でき、有効なパージのみを行わせて、より一層無用なパージによる水

素ガスの損失を低減させることができるという効果がある。

【0023】請求項3, 4, 14記載の発明によると、発電効率を維持でき、また、負荷変動に対応できるだけの余裕分を確保できる水素質量流量になっているか否かに基づいて、パージを行わせるので、燃料電池の運転条件（負荷）の変化に応じて常に最適なタイミングでパージを行わせることができるという効果がある。請求項5, 15記載の発明によると、混合ガス中の音速から水素濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定するので、水素質量流量・不純物ガス存在量の推定に必要な濃度情報を音速に基づき得ることができるという効果がある。

【0024】請求項6記載の発明によると、水素質量流量を推定するための体積流量の検出に伴って同時に濃度情報を得ることができ、簡便な構成で水素質量流量・不純物ガス存在量の推定を行わせることができるという効果がある。請求項7記載の発明によると、水素質量流量を推定するための体積流量の検出に伴って同時に濃度情報を得ることができ、かつ、水素循環系内の圧力、温度の変化に対応して水素質量流量及び不純物ガス存在量を高精度に推定することができるという効果がある。

【0025】請求項8記載の発明によると、混合ガス中の超音波の伝播時間に基づき水素濃度及び／又は不純物ガス濃度を推定させる構成において、除湿後の混合ガスにおける伝播時間を計測させるので、水蒸気ガスの濃度測定を行うことなく、水素濃度及び不純物ガス濃度を推定することができるという効果がある。請求項9記載の発明によると、湿度の検出結果から水蒸気濃度を求めることで、水蒸気を含む混合ガス中における超音波の伝播時間から水素濃度・不純物ガス濃度を推定させることができるという効果がある。

【0026】請求項10記載の発明によると、水素循環系内が飽和水蒸気状態であるときに、圧力、温度から簡便に水蒸気濃度を求めて、水蒸気を含む混合ガス中における超音波の伝播時間から水素濃度・不純物ガス濃度を推定させることができるという効果がある。請求項11記載の発明によると、水素循環系内の湿度、圧力、温度が略一定と見なせる条件下であるときに、水蒸気を含む混合ガス中における超音波の伝播時間から水素濃度・不純物ガス濃度を簡便に推定させることができるという効果がある。

【0027】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図に*

$$V = L / (2 \cos \theta) * (1/t_1 - 1/t_2) \quad \cdots (3)$$

$$C = L / 2 * (1/t_1 + 1/t_2) \quad \cdots (4)$$

となる。

【0032】従って、水素ガス還流路9内における平均体積流量 Q (m^3/s)は、管路断面積を S 、流量補正係数を K とすると、

$$Q = V \cdot S \cdot K \quad \cdots (5)$$

* 基づいて説明する。図1は、実施形態における燃料電池システムを示す図である。この図1において、水素ガス供給源1からの水素ガスは、供給調圧バルブ2、水素ガス供給ライン3、エジェクタ4、水素ガス供給ライン5を介して、燃料電池スタック20の燃料極（図示省略）に導入され、燃料電池スタック20にて消費されなかった燃料ガスは、水素ガス還流路7, 9, 10（水素還流経路）を介し、前記エジェクタ4によって水素ガス供給ライン5に還流される。

【0028】上記構成によって、燃料電池スタック20において発電に使用されなかった水素は、再び燃料電池20に還流され、水素の循環系が水素ガス還流路7, 9, 10及び水素ガス供給ライン5によって構成される。前記水素ガス還流路7から分岐延設される排出ライン12には、パージ弁11が介装されている。

【0029】前記排出ライン12の分岐部よりも下流側の水素ガス還流路9には、上流側から順に、除湿器8（除湿手段）、温度計37（温度検出手段）、流量計30（体積流量検出手段）、圧力計36（圧力検出手段）が介装されている。また、前記水素ガス供給ライン5には、加湿器6が介装されている。信号演算処理部40は、前記温度計37、流量計30、圧力計36からの検出信号を入力し、後述する演算処理に基づいて前記パージ弁11の開放を制御する。

【0030】図2は、前記流量計30の詳細を示す。前記流量計30は、本実施形態において超音波式流量計であり、超音波受発信器31, 32を備え、上流側の超音波受発信器31から下流側に向けて斜めに発した音波が、超音波反射部33で反射して下流側の超音波受発信器32に受信され、下流側の超音波受発信器32から上流側に向けて斜めに発した音波が、超音波反射部33で反射して上流側の超音波受発信器31に受信されるようになっており、下流側に向かう超音波の伝播時間 t_1 と、上流側に向かう超音波の伝播時間 t_2 とが計測されるようになっている。

【0031】ここで、水素ガス還流路9の軸線と超音波との角度を θ 、ガスの音速を C 、超音波の伝播経路34の長さを L 、水素ガス還流路9での平均流速を V とすると、前記伝播時間 t_1, t_2 (sec)は、

$$t_1 = L / (C + V \cos \theta) \quad \cdots (1)$$

$$t_2 = L / (C - V \cos \theta) \quad \cdots (2)$$

で表され、上記の2式から、平均流速 V (m/s)、音速 C (m/s)を求めると、

で求められるが、前記平均体積流量 Q は、基準温度及び基準圧力状態での体積流量であるため、そのときの圧力 p 及び温度 T に応じた補正を施して、 Q' （ノルマル立方メートル/秒）を算出する。

【0033】

$$Q' \text{ (Nm}^3\text{/s)} = Q \times (p/p_0) \times (T_0/T) \quad \cdots \cdots (6)$$

尚、上式で、 p_0 は基準圧力を、 T_0 は基準温度を示す。本実施形態では、水素質量流量 dmH_2/dt に基づいてパージを制御する構成となっており、水素ガス濃度を x 、水素密度を ρ_x とすると、水素質量流量 dmH_2/dt (kg/s)は、

$$dmH_2/dt = x \cdot \rho_x \cdot Q' \quad \cdots \cdots (7)$$

として算出される(水素質量流量推定手段)。

【0034】ここで、循環系には、水素、水蒸気、不純物ガス(窒素)からなる混合ガスが流れるが、前記超音波式の流量計30は除湿器8の下流側に配設されるから、前記音速 C は、水蒸気を除く水素と不純物ガス(窒素)との2成分からなる混合ガス中における音速 C となる。また、音速 C を求めた混合ガスの成分が既知である場合には、音速 C は、各成分の混合比(濃度)の関数で表され(特開2000-304732号参照)、水素と不純物ガス(窒素)の2成分の場合、係る混合ガスの平均密度 ρ_{av} と音速 C とは、図3に示すような相関になる。

【0035】従って、混合ガスでの音速 C が分かれば、図3に従って混合ガスの平均密度 ρ_{av} が求まり、平均密度 ρ_{av} から各成分の濃度を求めることができる。即ち、水素ガスの濃度を x 、水素ガスの密度を ρ_x とし、不純物ガスの濃度を y 、不純物ガスの密度を ρ_y とすると、混合ガスは水素ガスと不純物ガスとの2成分からなるから、

$$x + y = 1 \quad \cdots \cdots (8)$$

$$x \cdot \rho_x + y \cdot \rho_y = \rho_{av} \quad \cdots \cdots (9)$$

であるから、

$$x = (\rho_y - \rho_{av}) / (\rho_y - \rho_x) \quad \cdots \cdots (10)$$

$$y = (\rho_{av} - \rho_x) / (\rho_y - \rho_x) \quad \cdots \cdots (11)$$

となり、水素ガスの密度 ρ_x 及び不純物ガスの密度 ρ_y と、音速 C から求められる平均密度 ρ_{av} とから、水素ガス濃度 x 及び不純物ガス濃度 y を算出することができる(濃度推定手段)。

【0036】尚、上記水素ガスの濃度 x 及び不純物ガス濃度 y を求めるときに用いる水素ガスの密度 ρ_x 及び不純物ガスの密度 ρ_y は、そのときの圧力・温度から設定される。上記のようにして水素ガス濃度 x 及び不純物ガス濃度 y が求められると、係る濃度 x 、 y に前記体積流量 Q' を乗算することで、水素ガス体積流量 Qx' 及び不純物ガス体積流量 Qy' が求められ、該体積流量 Qx' 、 Qy' にガス密度 ρ_x 、 ρ_y を乗算することで、水素質量流量と不純物ガス質量流量が求められる。

【0037】燃料電池に供給する水素質量流量は燃料電池の発電効率に影響を与えるため、燃料電池で消費される水素質量流量以上の量を燃料電池に流入させることが求められ、また、燃料電池の急激な負荷増大に対応するための余裕分も必要ことから、循環ラインにおける水素質量流量、即ち、消費量分に付加される余裕分が所定

以上であることが要求される。

【0038】一方、還流ガス流量は、エジェクタ4によってある比率の流量が自動的に還流されるようになっていたため、還流ガスの中の水素質量流量が上記要求に合った量よりも少ないと、燃料電池では、必要な水素ガス量が不足し、逆に、不必要なガス成分(不純物ガス)が充填することになる。そこで、前記信号演算処理部40では、上記のようにして算出した水素質量流量と閾値とを比較し、水素質量流量が閾値以下になると、燃料電池で必要な水素量が確保できる状態となるまで(例えば一定時間)、パージ弁11を開いて循環系内に溜まった不純物ガスをパージする(パージ制御手段)。

【0039】ここで、燃料電池にとって必要な水素ガス質量流量とは、燃料電池の運転状態に依存しており、燃料電池を変換器と見なすと、その出力である発電電流値に対応した量に設定するのが合理的であり、前記閾値を発電電流に応じて変更すると良い(閾値設定手段)。図4に示すように、前記水素ガス濃度 x と体積流量 Q' とを変数とすると、水素質量流量一定の状態は双曲線群で表され、ある発電電流値に対応した水素質量流量 a で定常運転する場合を想定すると、図5に示すように、その双曲線以下の領域(斜線領域)は水素質量流量が不足した状態を表すことになり、係る領域に入るとパージ弁11を開くようにする。

【0040】図6のフローチャートは、上記パージ制御の流れを示すものであり、まず、ステップS1では、超音波の伝播時間 t_1 、 t_2 の計測を行う。そして、ステップS2、3では、前記伝播時間 t_1 、 t_2 に基づき体積流量 Q の演算を行い、同時並行で、ステップS4~6では、水素ガス濃度 x の演算を行う。

【0041】ステップS2では、前記伝播時間 t_1 、 t_2 に基づき平均流速 V を演算し(式(3))、該平均流速 V に基づいて体積流量 Q を演算する(式(5))。ステップS3では、前記体積流量 Q に圧力、温度に応じた補正を施して、体積流量 Q' を求める。ステップS4では、前記伝播時間 t_1 、 t_2 に基づき音速 C を演算する(式(4))。

【0042】ステップS5では、前記音速 C を平均密度 ρ_{av} に変換する(図3参照)。ステップS6(濃度推定手段)では、前記平均密度 ρ_{av} に基づいて水素ガス濃度 x (及び不純物ガス濃度 y)を演算する(式(10))。ステップS7(水素質量流量推定手段)では、前記体積流量 Q' 、水素ガス濃度 x 及び水素ガス密度 ρ_x に基づいて水素ガス質量流量を演算する。

【0043】ステップS8(閾値設定手段)では、そのときの発電電流に応じて前記水素ガス質量流量の閾値を設定する。ステップS9では、ステップS7で求めた水素ガス質量流量が、ステップS8で設定した閾値以下であるか否かを判別し、水素ガス質量流量が閾値以下であ

れば、ステップS10（パージ制御手段）へ進んで、パージ弁11を開放してパージを行わせる。

【0044】ところで、定常運転状態では、上記のように、水素ガス質量流量が閾値以下になったときにパージを行わせることで、無用なパージを回避することができるが、特に車両用燃料電池システムでは、燃料電池の負荷変動が大きく、かつ、変動頻度が多い。そして、負荷変動時には、燃料電池の発電電流に対応して設定される閾値の値にもよるが、水素質量流量が不足した状態に入り込みやすくなり、負荷に連動して頻繁にパージ弁11

を開放されると、パージ弁開放で排出される水素燃料ガスも無用に増加することになってしまう。

【0045】上記のような過渡的な水素質量流量の不足に対しては、循環系における不純物ガス存在量が少ない*
「不純物ガス存在量」 $\propto y \cdot (p/p_0) \cdot (T_0/T) \cdot V \cdots \cdots (12)$

【0048】水素質量流量が閾値以下になったときに、上記のようにして求められる不純物ガス存在量に対応する値が閾値以上であるときに、パージを実行させるようにすれば、負荷変動時に無用にパージが行われることが回避される。尚、水素質量流量のみに基づくパージ制御

での図5に示されるパージ領域に対して、圧力、温度を一定と仮定すると、不純物ガス濃度 $y = 1 - \text{水素ガス濃度}$ であるから、上記の水素質量流量及び不純物ガス存在量に基づくパージでは、図7のように不純物ガス濃度の閾値に相当する b によっても囲まれる斜線領域に示されるより限定した領域でパージが行われることになる。

【0049】図8のフローチャートは、上記の水素質量流量及び不純物ガス存在量に応じたパージ制御を示すものであり、ステップS21～S29の処理は、前記図6

のフローチャートのステップS1～S9と同様に行われる。ステップS29（不純物ガス存在量推定手段）で、

水素質量流量が閾値以下であると判別されると、ステップS30へ進んで、不純物ガス存在量を演算する。

【0050】ステップS31では、前記不純物ガス存在量が予め記憶された閾値以上であるか否かを判別し、前記不純物ガス存在量が閾値以上であれば、ステップS32へ進んで、パージを行わせる。ところで、図1に示されるシステム構成では、除湿器8の下流側で、水素及び不純物ガスの混合ガスの流量を計測させる構成とした

が、循環系の混合ガスが除湿されず、水素、水蒸気、不純物ガスの3成分になっている場合、或いは、図9又は※

$$x = [(1 - z) \rho_y + z \cdot \rho_z - \rho_{av}] / (\rho_y - \rho_x) \cdots \cdots (17)$$

$$y = [\rho_{av} - z \cdot \rho_z - (1 - z) \rho_y] / (\rho_y - \rho_x) \cdots \cdots (18)$$

となり、水蒸気濃度 z が既知であれば、上式から水素ガス濃度 x 及び不純物ガス濃度 y が求められることになる。

【0053】図11は、超音波流量計30が水素、不純物ガス、水蒸気の混合ガスにおける伝播時間を計測する構成において、水蒸気濃度 z を既知として、該水蒸気濃度 z から水素濃度 x を演算するパージ制御を示す。図1

* 状態では、たとえ上記の水素質量流量不足領域に一時的に在ったとしても、パージ弁を開放しないようにするとよい。前記不純物ガス存在量は、還流系の管路等で構成される容積 V を一定と見なせば、式(11)で示される不純物ガス濃度 y と、圧力 p と、温度 T とから不純物ガス存在量に対応した量を推定することができる（不純物ガス存在量推定手段）。

【0046】ここで、上記不純物ガス存在量は、流量 (L/min) ではなく、また、不純物ガス濃度 y そのものと対応しているのではなくて、不純物ガス濃度 y を圧力 p と温度 T で補正した値が存在量に対応することになる。

【0047】

【数1】

※図10に示すように、除湿器8の上流側位置でガス流量を検知する場合でも、水蒸気濃度 z を既知とすることで、前記伝播時間 t_1 、 t_2 に基づき求められる平均密度 ρ_{av} から水素ガス濃度 x 及び不純物ガス濃度 y を求めることができる。

【0051】図9に示す実施形態では、流量計30の上流側近傍に湿度計35を介装させてあり、該湿度計35（湿度検出手段）を備える場合には、該湿度の検出結果と圧力 p とから、水蒸気濃度 z を求めることができる。また、図10に示す実施形態では、湿度計35を備えないが、循環系内が飽和水蒸気状態である場合には、圧力 p と温度 T とに基づいて温度 T での飽和水蒸気圧を求めて、水蒸気分圧（濃度）を推定することができる。

【0052】ここで、流量計30は、水素、不純物ガス、水蒸気の混合ガスにおける超音波の伝播時間を計測することになるから、伝播時間 t_1 、 t_2 に基づく平均密度 ρ_{av} は、3成分混合ガスの平均密度 ρ_{av} であり、前記式(8)、(9)は、水蒸気の密度を ρ_z とすると、下記のように変更される。

$$x + y + z = 1 \cdots \cdots (13)$$

$$x \cdot \rho_x + y \cdot \rho_y + z \cdot \rho_z = \rho_{av} \cdots \cdots (14)$$

ここで、上式を変形して、

$$x + y = 1 - z \cdots \cdots (15)$$

$$x \cdot \rho_x + y \cdot \rho_y = \rho_{av} - z \cdot \rho_z \cdots \cdots (16)$$

として、これを未知数 x 、 y について解くと、

1に示すフローチャートは、ステップS25で平均密度 ρ_{av} を演算すると、次のステップS26A（濃度推定手段）では、湿度計35に基づき、或いは、循環系内が飽和水蒸気状態である場合に圧力・温度から、水蒸気濃度 z を演算する。

【0054】そして、ステップS26Bでは、前記水蒸気濃度 z を用いて水素ガス濃度 x を演算する。上記ステ

ップS26A, ステップS26B以外の各ステップでは、図8と同様な処理が行われる。尚、循環系内における湿度、圧力、温度が略一定である場合には、湿度計35, 圧力計36, 温度計37を設けなくても、水蒸気濃度 z を予め一定値と見なして、水素ガス濃度 x 及び不純物ガス濃度 y を求めることが可能である。

【0055】また、流量計30を図12に示すように、水素ガス循環系を構成する供給ライン5に介装させる構成としても良い。この場合、計測される水素質量流量は、エジェクタ4によって還流される分と、燃料電池スタック20における消費分に対応する供給ライン3からの供給分との合計になるから、発電電流に応じて設定する水素質量流量の閾値を、供給ライン3からの供給分だけ嵩上げすれば、前記実施形態と同様にしてパージ制御を行わせることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】除湿器の下流側に流量計を備える実施形態のシステム構成図。

【図2】超音波流量計の伝播時間と諸物理量の関係を示すための模式図。

【図3】音速演算値と混合ガスの平均密度との関係を示す線図。

【図4】水素質量流量と濃度と混合ガス流量の関係を表す線図。

【図5】定常運転状態での水素質量流量不足領域を表す線図。

【図6】水素質量流量に基づくパージ制御を示すフローチャート。

10

20

*

* 【図7】水素質量流量と不純物ガス存在量とに基づくパージ領域を表す線図。

【図8】水素質量流量と不純物ガス存在量とに基づくパージ制御を示すフローチャート。

【図9】湿度計を備える実施形態のシステム構成図。

【図10】湿度計を備えない実施形態のシステム構成図。

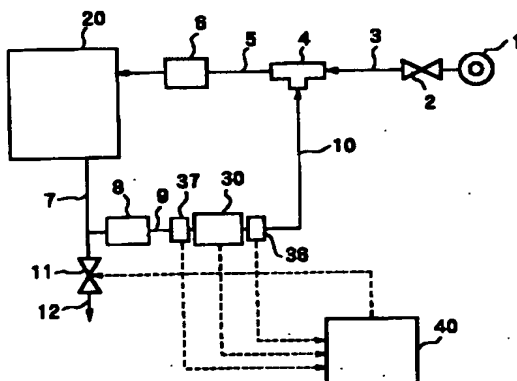
【図11】水蒸気濃度から水素ガス濃度を求めるパージ制御を示すフローチャート。

【図12】流量計を燃料ガス供給系に配置した実施形態を示すシステム構成図。

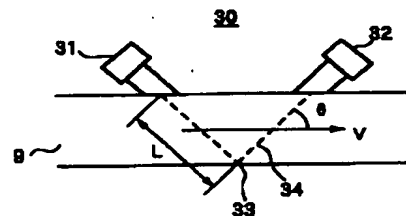
【符号の説明】

- 1…水素ガス供給源
- 2…供給調圧バルブ
- 3…水素ガス供給ライン
- 4…エジェクタ
- 5…水素ガス供給ライン
- 6…加湿器
- 7, 9, 10…水素ガス還流路
- 8…除湿器
- 11…パージ弁
- 12…排出ライン
- 30…流量計
- 35…湿度計
- 36…圧力計
- 37…温度計
- 40…信号演算処理部

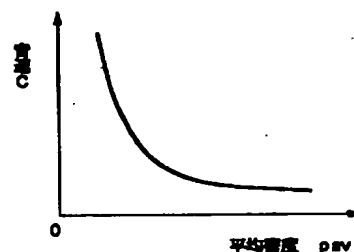
【図1】



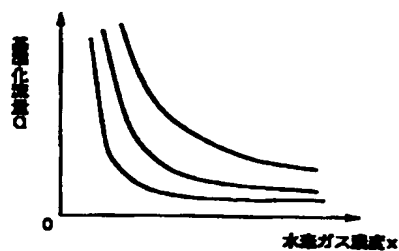
【図2】



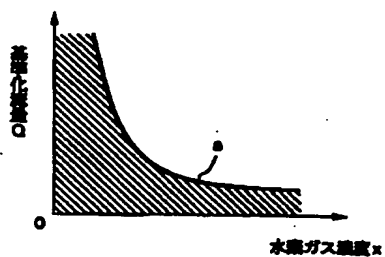
【図3】



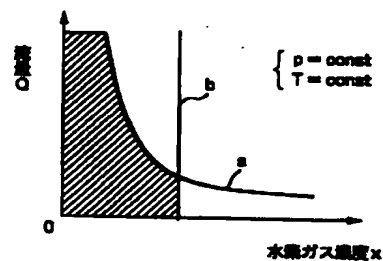
【図4】



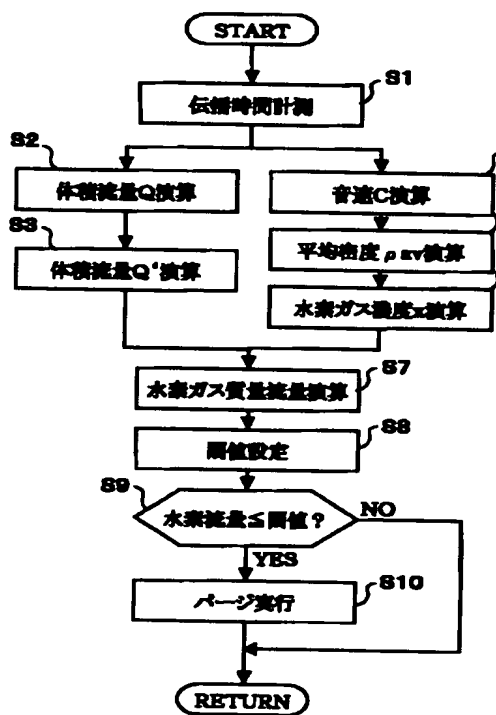
【図5】



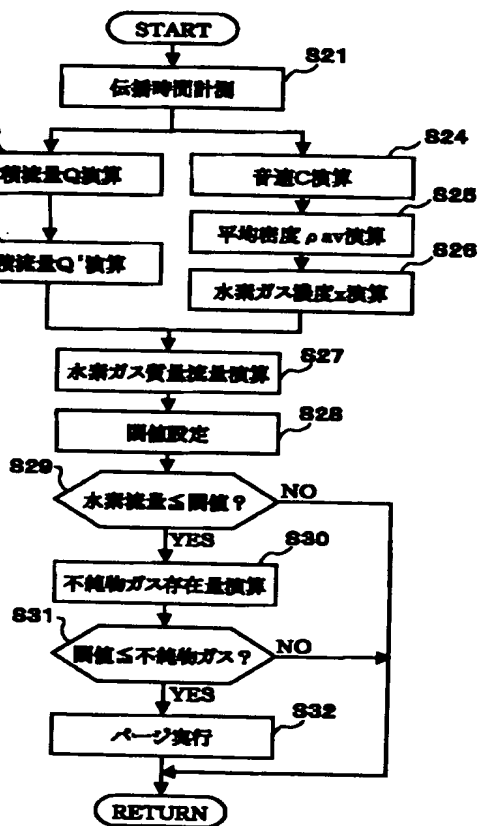
【図7】



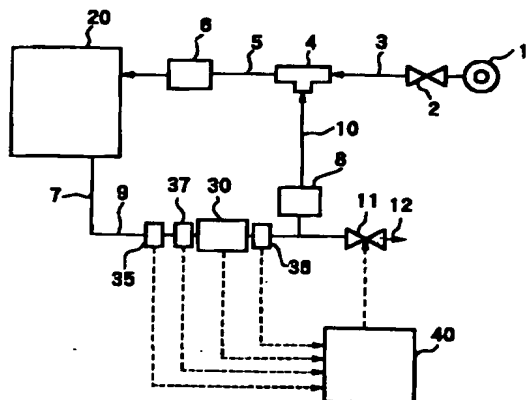
【図6】



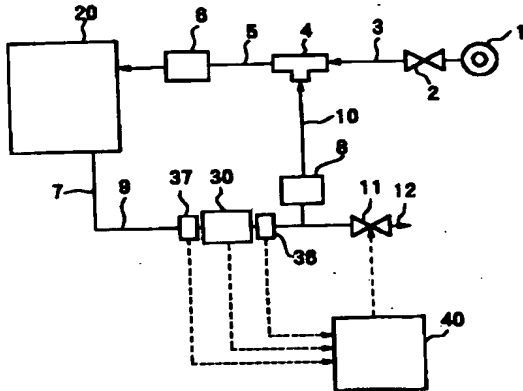
【図8】



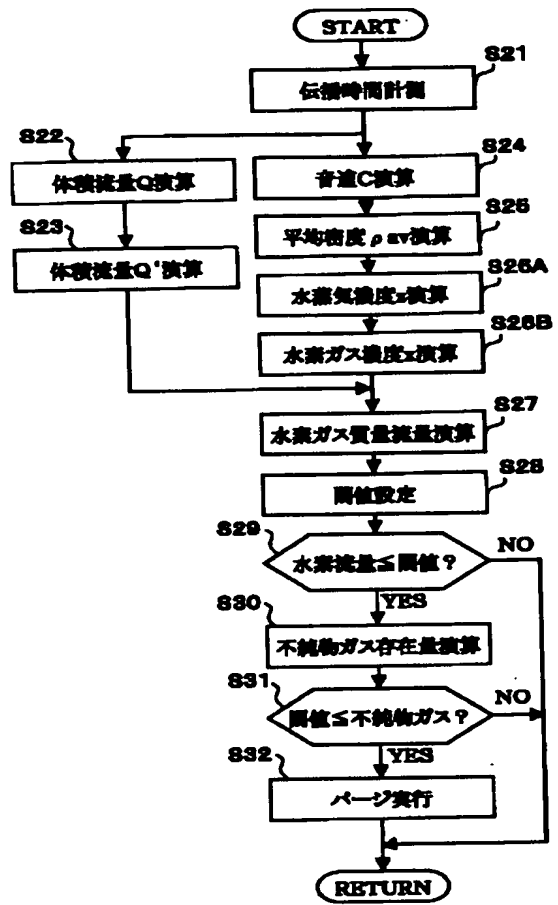
【図9】



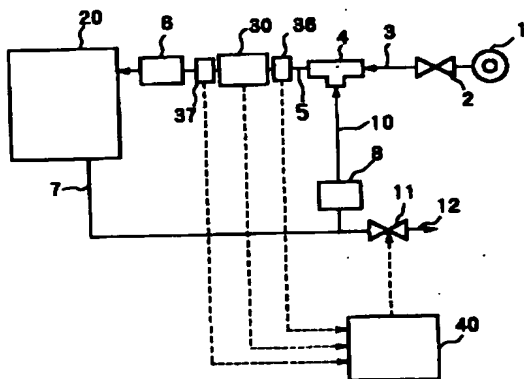
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 上原 哲也

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産
自動車株式会社内

Fターム(参考) 5H027 AA02 BA16 BA19 KK05 KK25
KK31 KK44 KK56 MM08